15(2) 281-292, Summer 2023

Journal of Animal Environment
(AEJ)
Journal homepage: http://www.aejournal.ir

## Original Research Paper

# Investigating the concentration of heavy metals including lead, cadmium and nickel in the muscle tissue of oily sardine fish (*Sardinella longiceps*) and edible oyster (*Saccostrea cucullata*) and estimating the risk health assessment (case study: beaches of Bushehr province)

***Lobat Taghavi* [*1], *Tooraj Valinassab* [2], *Elham Ghazian* [1], *Parastou Asgari* [1], *Shahrokh Soltaninia* [1], *Saman Sakhaei* [3], *Yalda Fazli* [3]**

[1] *Department of Environmental Sciences and Engineering, Branch Science and Research, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[2] *Iranian Fisheries Science Research Institute, Agriculture Research Education and Organization, Tehran, Iran*
[3] *Department of Water Security, School of Environment and Sustainable Development, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada*

**Key Words**

Heavy metals
Oily sardines
Oysters
Bushehr
Risk assessment
Persian Gulf

**Abstract**

**Introduction:** The increase in the consumption of heavy metals in the Persian Gulf is the result of oil release, coastal investments such as refineries and large industrial factories, in fishing and commercial, household industries, as well as agricultural runoff, which is the result of pesticides and pesticides. It is one of the dangers that have made the ecosystem with this threat. Considering the proof of the nutritional value of marine products in the past decades and the need to consume food sources and fatty acids needed by the body, it is necessary to study the increase in the amount of risks caused by the consumption of aquatic products. Oily sardines and edible oysters are both for human consumption, and according to the reports of the past few years about the presence of pollutants, including heavy elements, in the waters of the Persian Gulf, it is necessary that these species are healthy for human consumption. Thoroughly tested. The main purpose of this research is to measure the accumulation of lead, cadmium and nickel in the muscles of oily sardines and oysters in the Persian Gulf and its consumption.

**Materials & methods:** Considering the importance of treatments related to heavy metals in edible aquatics due to the possibility of the accumulation of these metals, 30 oily sardine fish samples and 30 food samples from the beaches of Bushehr were analyzed.

**Results:** The composition of lead, cadmium and nickel metals in oily sardine fish muscle was calculated as 0.4327, 0.0192 and 0.0006 respectively and in edible oyster mollusk as 0.7414, 0.0550 and 0.0025 micrograms per weight respectively. A comparative comparison with the standards specified by global organizations such as WHO, FDA and UKMAFF shows that all the following were within the standard. The HQ index was less than 1 for both species.

**Conclusion:** The results showed that the consumption of oily sardines and edible oysters does not pose a serious risk to the health of consumers in terms of lead, cadmium and nickel levels.

* Corresponding Author's email: taghavi_lobat@yahoo.com
Received: 4 February 2023; Reviewed: 4 March 2023; Revised: 1 May 2023; Accepted: 16 June 2023
(DOI): 10.22034/AEJ.2023.383322.2929

**مقاله پژوهشی**

# بررسی غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و نیکل در بافت عضله ماهی ساردین روغنی (*Sardinella longiceps*) و صدف خوراکی (*Saccostrea cucullata*) (مطالعه موردی: سواحل استان بوشهر)

*لعبت تقوی[1*]، تورج ولی‌نسب[2]، الهام قاضیان[1]، شاهرخ سلطانی‌نیا[1]، پرستو عسگری[1]، سامان سخایی[3]، یلدا فضلی[3]*

[1] گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[2] موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

[3] گروه امنیت آب، دانشکده محیط زیست و توسعه پایدار، دانشگاه ساسکاچوان، ساسکاتون، کانادا

**کلمات کلیدی**

فلزات سنگین
ماهی ساردین روغنی
صدف خوراکی
بوشهر
ارزیابی ریسک
خلیج فارس

## چکیده

**مقدمه:** افزایش آلودگی فلزات سنگین در خلیج‌فارس که نتیجه رهاسازی مشتقات نفتی، فاضلاب‌های تأسیسات ساحلی نظیر پالایشگاه‌ها و کارخانجات بزرگ صنعتی، بنادر صیادی و تجاری، فاضلاب‌های خانگی و هم‌چنین رواناب کشاورزی که نتیجه استفاده از سموم دفع آفات و حشره‌کش‌ها می‌باشد ازمهم‌ترین مخاطراتی است که این زیست‌بوم‌را با تهدید مواجه ساخته است. با توجه به اثبات ارزش تغذیه‌ای‌فراورده‌های دریایی در دهه‌های گذشته و لزوم تأمین منابع پروتئینی و اسیدهای چرب ضروری بدن، مطالعه میزان عناصر سنگین جهت کاهش خطرات ناشی از مصرف آبزیان الزامی است. ماهی ساردین روغنی و صدف خوراکی هر دو مصرف خوراکی برای انسان دارند و با توجه به گزارشات چند سال گذشته مبنی بر حضور آلاینده‌ها ازجمله عناصر سنگین در آب‌های خلیج‌فارس، ضروری است که این گونه‌ها از نظر سلامت برای مصرف انسانی کاملاً مورد آزمایش قرار بگیرند. هدف اصلی این تحقیق تعیین و اندازه‌گیری تجمع سرب، کادمیوم و نیکل در عضله ماهی ساردین روغنی و صدف خوراکی در خلیج‌فارس و برآورد ریسک ناشی از مصرف آن است.

**مواد و روش‌ها:** باتوجه به اهمیت بررسی آلودگی‌های مربوط به فلزات سنگین درآبزیان خوراکی به‌علت احتمال تجمع این فلزات، ۳۰ نمونه ماهی ساردین روغنی و ۳۰ نمونه صدف خوراکی سواحل بوشهر مورد آنالیز قرار گرفت.

**نتایج:** میانگین غلظت فلزات سرب، کادمیوم و نیکل در عضله ماهی ساردین روغنی به‌ترتیب ۰/۴۳۲۷، ۰/۰۱۹۲ و ۰/۰۰۰۶ و در نرم‌تن صدف خوراکی به‌ترتیب ۰/۷۴۱۴، ۰/۰۵۵۰ و ۰/۰۰۲۵ میکروگرم بر گرم وزن تر محاسبه شد. مقایسه میانگین غلظت فلزات با مقادیر استاندارد اعلام شده توسط سازمان‌های جهانی نظیر سازمان جهانی بهداشت، سازمان‌غذا و دارو آمریکا و وزارت‌کشاورزی و شیلات و غذای انگبستان نشان داد که تمام مقادیر مذکور پایین‌تر از حد استاندارد بود. شاخص HQ نیز برای هر دو گونه کم‌تر از ۱ به‌دست آمد

**بحث و نتیجه‌گیری:** نتایج نشان می‌دهد مصرف ماهی ساردین روغنی و صدف خوراکی خطر جدی برای سلامت مصرف‌کنندگان از نظر میزان سرب، کادمیوم و نیکل ندارد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: taghavi_lobat@yahoo.com

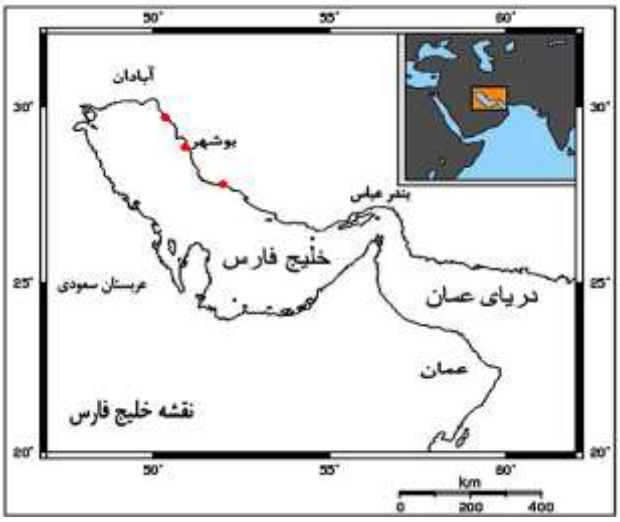
تاریخ دریافت: ۱۵ بهمن ۱۴۰۱؛ تاریخ داوری: ۱۳ اسفند ۱۴۰۱؛ تاریخ اصلاح: ۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۶ خرداد ۱۴۰۲
(DOI): 10.22034/AEJ.2023.383322.2929

## مقدمه

دریاها و اقیانوس‌ها جزو مهم‌ترین اکوسیستم‌ها می‌باشند که تقریباً ۷۰ درصد از سطح کره زمین را می‌پوشانند و منبع غذایی عظیمی برای بشر محسوب می‌شوند. متأسفانه افزایش جوامع بشری و صنعتی شدن باعث شده تا زباله و فاضلاب‌های تولید شده از این مراکز سال به سال افزایش یافته و موجب آلودگی محیط‌زیست گردد (۱). در سال ۱۹۹۰ متخصصان سازمان ملل در جنبه علمی آلودگی دریا GESAMP ( The United Nations Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution) آن را چنین تعریف کردند: آلودگی دریا شامل ورود هرگونه مواد یا انرژی توسط انسان به شکل مستقیماً غیرمستقیم به محیط‌زیست دریایی اعم ازمناطق ساحلی و خوریات است که اثرات نامطلوبی را دربرخواهد داشت، از آن جمله خطراتی برای منابع زنده دریایی و سلامتی انسان، بروز موانعی در برابر فعالیت‌های دریایی شامل ماهیگیری و کاهش کیفیت آب دریا. البته تأکید این تعریف بیش‌تر بر آلودگی با منشأ انسان یا ستوبر آلودگی‌های طبیعی تأکید کم‌تری دارد (۲). یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست مخصوصاً اکوسیستم‌های آبی، فلزات سنگین می‌باشد. فلزات سنگین آلوده‌کننده‌هایی پایدارند که برعکس مواد زائد آلی، معمولاً توسط باکتری‌ها تجزیه نمی‌شوند و اگر هم عمل تجزیه صورت گیرد، آن‌قدر کند و بطئی است که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان افزودنی‌های پایدار به محیط‌زیست آبی محسوب کرد (۳). فلزات سنگین نیمه‌عمر زیستی طولانی دارند و به‌همین جهت برای ارگانیسم‌های آبزی خطری جدی محسوب می‌شوند (۴). فلزات سنگین در محیط‌های دریایی می‌توانند به‌صورت محلول و معلق مانده، روی بستر رسوب کرده و یا این که توسط موجودات زنده جذب شوند (۵). در بین موجودات، گونه‌های بنتیک و اپی‌بنتیک به‌شدت در معرض آلاینده‌های محلول در آب و آلاینده‌های موجود در رسوبات می‌باشند(۶). موجودات پلاژیک نیز از طریق آلوده شدن زنجیره غذایی یا انتشار آلاینده‌ها به داخل آب، در معرض آلاینده‌های موجود در بستر هستند(۷). تحقیقات درخصوص جذب فلزات سنگین در آبزیان همواره مورد توجه محققین بوده است. اما آن‌چه ضرورت این پژوهش را آشکار می‌سازد این است که بیش‌تر مطالعات انجام شده به‌خصوص در ایران تا مرحله سنجش غلظت فلزات سنگین در آب، رسوب و یا بافت‌های گونه‌های مختلف آبزیان پیش‌رفته و به‌ارزیابی ریسک مصرف فرآورده‌های دریایی با توجه به غلظت‌های موجود فلزات سنگین در آن‌ها کم‌تر پرداخته شده است. در این مطالعه در گام نخست به اندازه‌گیری غلظت سرب، کادمیوم و نیکل در بافت عضله ماهی ساردین روغنی *Sardinella longiceps* و صدف خوراکی *Saccostrea cucullata* می‌پردازیم. مقادیری از فلزات سنگین پس از ورود به اندام‌های مختف آبزیان دفع می‌شوند، اما درصورت عدم دفع به‌دلیل غیرقابل تجزیه بودن در بافت‌های مختلف آن‌ها تجمع یافته (۹) و به‌طور مداوم طی دورهٔ زندگی، میزان آن‌ها افزوده می‌شود (۴). تجمع تدریجی و برگشت‌ناپذیر این فلزات سمی در اندام‌های مختلف موجودات دریایی در طولانی مدت منجر به بروز بیماری‌های مختلفی می‌شود که زندگی موجودات آبزی را به مخاطره می‌اندازد (۱۰) آسیب‌های بافتی، تغییرات مورفولوژیکی، کاهش رشد، کاهش توانایی شنا، تغییر فعالیت آنزیم‌ها، کاهش تولیدمثل، تغییر رفتار، تغییرات ژنتیکی و مرگ و میر آبزیان از اثرات فلزات سنگین بر موجودات آبزی است (۱۱) مشکل دیگر، انتقال این آلاینده‌ها در طول زنجیره غذایی از یک موجود به موجود دیگر است که منجر به تجمع بیش‌تر فلزات در حلقه‌های بالاتر زنجیره‌های غذایی می‌شود (۹). این عناصر نه تنها موجب کاهش تنوع گونه‌های دریایی و اکوسیستم می‌شوند بلکه با مصرف غذاهای دریایی، انسان نیز در معرض این فلزات قرار گرفته و سلامتی‌اش به خطر می‌افتد (۱۲). مصرف غذای آلوده به فلزات سنگین، بدن انسان را از مواد مغذی ضروری و مورد نیاز خالی کرده و کارایی سیستم ایمنی بدن را کاهش می‌دهد. عقب‌ماندگی رشد داخل رحمی، اختلالات روانی، سوء تغذیه و شیوع سرطان قسمت بالای دستگاه گوارش از دیگر عوارض غذای آلوده به فلزات سنگین است (۱۳) از آن‌جایی‌که تأثیر آلودگی آبی بر سلامت انسان عمدتاً از طریق مصرف غذاهای آلوده است (۲) تعیین میزان باقی‌مانده‌های فلزات سنگین و سایر آلاینده‌های محیطی در مواد غذایی و به‌دست آوردن اطلاعات کافی از وضعیت آلودگی در جهت به‌کارگیری روش‌های پیشگیرانه و ارائه استانداردها و قوانین مناسب ضروری می‌باشد (۱۱). ماهی‌ها و دوکفه‌ای‌ها برای تجمع زیستی بسیار مستعد هستند، چرا که در سطح بالای زنجیره غذایی قرار دارند و معمولاً توسط انسان خورده می‌شوند. لذا بافت‌هایی مانند کبد، کلیه، عضله، احشا و گاهی کل بدن موجود برای اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین استفاده می‌شود (۱۴). هدف اصلی این تحقیق تعیین و اندازه‌گیری تجمع سرب، کادمیوم و نیکل در عضله ماهی ساردین روغنی و صدف خوراکی در خلیج‌فارس و برآورد ریسک ناشی از مصرف آن است. اهداف فرعی نیز به تفکیک عبارتند از: تعیین غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، نیکل) در عضله ماهی ساردین روغنی *Sardinella longiceps* و صدف خوراکی *Saccostrea cucullata*، مقایسه غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، نیکل) در عضله ماهی ساردین روغنی *Sardinella longiceps* و صدف خوراکی *Saccostrea cucullata*، مقایسه غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، نیکل) در عضله ماهی ساردین روغنی *Sardinella longiceps* و صدف خوراکی *Saccostrea cucullata* با استاندارد

## مواد و روش‌ها

**تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری:** جهت انجام این تحقیق ۳ ایستگاه در طول سواحل شهر بوشهر انتخاب گردید.




**شکل ۱: منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری**

مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری به شرح زیر است:

**جدول ۱: ایستگاه‌های نمونه‌برداری شامل نام ایستگاه و موقعیت جغرافیایی آن‌ها**

| ردیف | نام ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی |
|---|---|---|---|
| ۱ | بندر گناوه | ۵۰ ° ۳۱ ′ ۲۶.۰۸ ″E | ۲۹ ° ۳۴ ′ ۹.۱۵ ″N |
| ۲ | بندر بوشهر | ۵۰ ° ۴۹ ′ ″۱۳.۱۳E | ۲۸ ° ۵۵ ′ ۲۴.۱۸ ″N |
| ۳ | بندر دیر | ۵۱ ° ۵۶ ′ ۳۱.۷۲ ″E | ۲۷ ° ′۵۰ ۴۵.۰۶ ″N |

**نمونه‌برداری:** جامعه آماری مورد مطالعه، ماهی ساردین روغنی *Sardinella longiceps* و صدف خوراکی *Saccostrea cucullata* سواحل دریای خلیج‌فارس است و نمونه‌برداری از آن‌ها در آذرماه ۱۳۹۴ انجام شد. صید ماهی ساردین روغنی به‌روش جل یا پرساین دو قایقی صورت می‌گیرد. ۳۰ نمونه ماهی از ۳ ایستگاه بندر گناوه، بندر بوشهر و بندر دیر (از هر ایستگاه ۱۰نمونه) تهیه شد. جمع‌آوری صدف‌های خوراکی به‌روش غواصی یا به‌روش دستی در اعماق کم‌تر انجام می‌شود. برای نمونه‌برداری با استفاده از قلم و چکش ۳۰ عدد صدف صخره از ایستگاه‌های مشخص شده (از هر ایستگاه ۱۰نمونه) جمع‌آوری و با آب تمیز دریا شستشو دادیم. تمام نمونه‌ها در یونولیت‌های حاوی پودر یخ به آزمایشگاه انتقال و در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شد.

**معرفی گونه‌های مورد مطالعه**

**ماهی ساردین روغنی (*Sardinella longiceps*)**

**شکل ۲: ماهی ساردین روغنی (*Sardinella longiceps*)**

**صدف دوکفه‌ای اویستر صخره‌ای (*Saccostrea cucullata*)**

**شکل ۳: صدف صخره (*Saccostrea cucullata*)**

**وسایل و تجهیزات مورد استفاده:** قلم و چکش برای جداسازی صدف از صخره، کیسه فریزر جهت قرار دادن نمونه‌ها و ارسال به آزمایشگاه، یونولیت‌های حاوی یخ، دستکش یک‌بار مصرف، ماسک، کولیس برای اندازه‌گیری طول صدف (با دقت ۱میلی‌متر)، تخته بیومتری، کولیس، ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱ گرم)، چاقوی یک‌بار مصرف، پلیت، آون، هاون چینی برای خرد کردن نمونه‌های خشک شده، ظروف پلی‌اتیلنی جهت نگه‌داری نمونه‌های خشک شده و جلوگیری از نفوذ رطوبت به آن‌ها، اسیدنیتریک، اکسید وانادیم، هات‌پلیت، کاغذ صافی واتمن، بالن، آب مقطر، دستگاه جذب اتمی.

**روش کار:** تمام وسایل و ظروف مورد استفاده باید تمیز و از جنس مناسب باشند: وسایل و ظروف پلاستیکی و شیشه‌ای برای کار با فلزات کمیاب، از جنس فولاد ضد زنگ، شیشه یا آلومینیوم برای کار با مواد آلی. اگر لازم باشد که نمونه‌های منجمد تا حدی آب شوند، آن‌ها را در طول شب در یخچالی با دمای ۲- تا ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد (نمونه تا حدی منجمد آسان‌تر از نمونه کاملاً ذوب شده و یا حتی تازه، بریده می‌شود) در آزمایشگاه نمونه‌ها کاملاً تمیز و با آب مقطر شستشو داده شدند. هر نمونه ماهی کدگذاری شد و پس از تعیین جنسیت، با استفاده از تخته بیومتری طول کل و طول چنگالی (برحسب سانتی‌متر) اندازه‌گیری و با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن بدن (برحسب گرم) ثبت شد. سپس با استفاده از چاقوی پلاستیکی از بافت عضله هر ماهی نمونه‌برداری و درون پلیت

قرار گرفت. هر نمونه صدف نیز کدگذاری شده وبا استفاده از کولیس ارتفاع و محور جلوئی عقبی (برحسب میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. سپس نرمتن را از صدف خارج، با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن (برحسب گرم) و از بافت آن نمونه‌برداری کردیم. جهت خشک شدن، بافت‌ها درون‌آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. بافت‌های خشک شده را توسط هاون چینی پودر کرده و برای انجام هضم ۰/۳ گرم از هر کدام توزین و با ۴ میلی‌لیتر اسید نیتریک درون لوله‌های هضم ریخته شد. پس از صرف زمان ۱ ساعت در دمای اتاق، آن‌را به‌مدت ۳ ساعت در دمای ۹۰ درجه روی هات‌پلیت قرار داده و عمل هضم انجام گردید. آنگاه پس از خنک شدن، محلول با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف و با آب مقطر در بالن حجمی به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در نهایت پس از هم زدن و یکنواخت شدن محلول به‌دست آمده غلظت عناصر در هر یک از نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه جذب اتمی مدل اندازه‌گیری شد.

**اثرات فلزات سنگین بر آبزیان:** هرچند برخی از فلزات سنگین مانند مس، روی و آهن در مقادیر کم برای متابولیسم آبزیان ضروری هستند، اما عناصری مانند کادمیوم، جیوه و سرب حتی در غلظت‌های پایین برای موجودات زنده سمی می‌باشند (۱۵). انتشار فلزات سنگین در آب با اثرات زیان‌بار متعددی ازجمله تأثیرات نامطلوب بر روی آبزیان به‌ویژه در مراحل اولیه زندگی آن‌ها همانند تخم، مراحل رشدی و لارو همراه است (۱۶). فلزات سنگین اثرات مختلفی مانند کاهش رشد، تغییر رفتار، تغییرات ژنتیکی و مرگ و میر در آبزیان را باعث می‌شوند. نابودی یا کاهش گونه‌ای خاص سبب تغییر در اکوسیستم آبی گشته و توازن آن را برهم می‌زند. اثرات فلزات سنگین روی موجودات آبزی به نوع فلز، غلظت و مدت زمان در معرض قرارگیری فلز و شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط بستگی دارد (۹). ماهیان اغلب در سطوح بالای زنجیره غذایی قرار دارند و ممکن است مقادیر بیش‌تری از برخی فلزات سنگین را نسبت به آب در خود ذخیره کنند (۱۷). ماهیان معمولاً در قسمت‌هایی که آلودگی زیاد است، تعداد و مقدار وزنی‌شان (بیوماس) به حداقل می‌رسد. با کاهش میزان آلودگی، تعداد و وزن انواع ماهیان بیش‌تر شده و در محیط عاری از آلودگی حضور آن‌ها عادی می‌گردد (۱۸). مسمومیت با فلزات سنگین در ماهیان باعث توکسمی (مسمومیت خونی) می‌گردد که با علائمی نظیر از دست رفتن توانایی تولیدمثل، تغییر شکل اسکلت، تغییرات در فاکتورهای خونی، افزایش حساسیت به عوامل عفونی و بالاخره مرگ همراه است که ممکن است به‌دلیل صدمات وارده به سیستم ایمنی ماهی باشد. بیش‌تر اندام‌های ماهی در برابر مسمومیت با فلزات سنگین حساس‌اند. در صورت غلظت بیش از حد طبیعی فلزات سنگین در آب، اولین اندام ماهی که دچار آسیب می‌شود، لایه موکوس پوست است که با نابودی آن فعالیت حیاتی ماهیان به‌مخاطره می‌افتد. اندام آسیب‌پذیر بعدی آبشش است که مهم‌ترین مسیر در جذب این عناصر محسوب می‌شود (۱۹).

**جدول ۲: اندام‌های حساس ماهیان در برابر مسمومیت با فلزات سنگین (۱۹)**

| فلزات | بافت‌ها و اندام‌ها |
|---|---|
| سرب | کلیه، آبشش، کبد و ماهیچه‌ها |
| جیوه | کبد، آبشش، کلیه و ماهیچه‌ها |
| نیکل | کبد، آبشش، کلیه و ماهیچه‌ها |
| کادمیوم | کبد، کلیه و آبشش |
| کروم | کبد، کلیه، آبشش و ماهیچه‌ها |
| قلع | کبد، قلب و ماهیچه‌ها |
| مس | آبشش و کبد |
| روی | کبد، آبشش و کلیه |
| آلومینیوم | آبشش و کبد |

**جدول ۳: متغیرهای محیطی و تأثیر آن‌ها بر جذب فلزات سنگین و سلامتی ماهیان (۹)**

| متغیرهای محیطی | اثرات | عواملی که تحت تأثیر قرار می‌گیرند |
|---|---|---|
| دما | افزایش سرعت تنفس که منجر به افزایش جذب فلزات سنگین می‌شود | میزان سوخت و ساز مصرف اکسیژن |
| سختی آب | کربنات‌ها، ترکیباتی را با فلزات سنگین به وجود می‌آورد و منجر به کاهش جذب آن‌ها می‌شود | کربنات‌ها و گاز کربنیک |
| pH | کاهشpH موجب افزایش یون هیدروژن و افزایش غلظت یون آزاد فلزی و در نهایت افزایش جذب فلزات سنگین می‌شود. افزایش pH موجب تشکیل هیدروکسیل فلزی می‌شود و باعث کاهش جذب فلزات سنگین می‌گردد | هایدروکسید و یون هیدروژن |
| ترکیبات آلی | ایجاد کمپلکس و کاهش جذب | مواد هومیکی |
| | ایجاد کمپلکس و کاهش جذب | مانند EDTA و NTA |
| | افزایش چربی دوستی و افزایش جذب | زانتات |
| شوری | افزایش تشکیل کلریدهای فلزی و کاهش جذب | یون کلر |

فلزات سنگین هم‌چنین روی تولیدمثل ماهی تأثیر می‌گذارد چرا که سبب کاهش رشد گنادها، کاهش تولید اسپرم تخمک و زرده‌سازی، از بین رفتن لاروها، تغییر شکل مرحله بعد از لاروی و در نهایت باعث تغییر ساختار ژنتیکی بالغین می‌گردد (۲۰). از آن‌جایی‌که رسوبات محل نهایی تجمع فلزات سنگین در محیط‌های آبی هستند و می‌توانند تحت شرایطی به‌عنوان منبع آلودگی عمل کنند، فلزات موجود در رسوبات ممکن است به سهولت و به‌مقدار زیاد در دسترس جانوران به ویژه کفزیان قرار گیرند (۲۱). از اثرات سوء سمیت فلزات بر دوکفه‌ای‌ها می‌توان به کاهش ضخامت پوسته، کاهش تولیدمثل، کاهش سرعت فیلترکنندگی و آسیب به بافت‌های بدنی اشاره کرد (۹).

**عوامل مؤثر در قابلیت دسترسی فلزات سنگین:** شکل شیمیایی فلزات سنگین (معدنی و یا آلی)، حضور و یا عدم حضور سایر فلزات، متغیرهای محیطی از قبیل شوری، سختی، قلیائیت، pH، دما و اکسیژن محلول بر قابلیت حل شدن و در نتیجه سمیت زایی فلزات سنگین مؤثر است. در ماهیان نیز میزان حساسیت به فلزات سنگین به عوامل زیست‌شناختی مانند گونه، سن، جنس و شرایط فیزیکی ماهی بستگی دارد (۱۹).

## نتایج

### توصیف آماری غلظت فلزات در بافت عضله

**ماهی ساردین روغنی:** جدول ۴ توصیف آماری غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و نیکل را در بافت عضله ماهی ساردین روغنی نشان می‌دهد. توضیح این‌که در جدول مربوطه کل واحدهای اندازه‌گیری عناصر برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر می‌باشد.

**جدول ۴: توصیف آماری غلظت فلزات در ماهی ساردین روغنی (n=30)**

| متغیر | انحراف معیار | میانگین | حداکثر | حداقل | دامنه | ضریب تغییرات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| سرب | ۰/۱۰۲ | ۰/۳۳۰ | ۰/۵۲۲۰ | ۰/۱۲۶۰ | ۰/۳۹۶ | ۰/۳۰۹ |
| کادمیوم | - | ۰/۰۱۲۴ | ۰/۰۲۹۰ | ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۲۸۵ | - |
| نیکل | - | ۰/۰۳۰۱ | ۰/۰۷۶۶ | ۰/۰۰۰۳ | ۰/۰۷۶۳ | - |

**صدف خوراکی:** جدول ۵ توصیف آماری غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب و نیکل را در بافت عضله صدف خوراکی نشان داده است. در جدول مربوطه کل واحدهای اندازه‌گیری عناصر بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر می‌باشد.

**جدول ۵: توصیف آماری غلظت فلزات در صدف خوراکی (n=30)**

| متغیر | انحراف معیار | میانگین | حداکثر | حداقل | دامنه | ضریب تغییرات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| سرب | ۰/۰۹۰ | ۰/۶۵۵ | ۰/۷۷۸ | ۰/۵۱۴ | ۰/۲۶۴ | ۰/۱۳۷ |
| کادمیوم | - | ۰/۰۶۵۸ | ۰/۱۲۹۰ | ۰/۰۱۳۱ | ۰/۱۱۵۹ | - |
| نیکل | - | ۰/۰۶۴۴ | ۰/۱۴۵۶ | ۰/۰۰۱۳ | ۰/۱۴۴۳ | - |

**بررسی نرمال بودن متغیرها:** به‌منظور انتخاب آزمون آماری مناسب جهت تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری شده لازم است تا نوع توزیع متغیر به لحاظ نرمال بودن پراکندگی آن ارزیابی شود که در این مورد از آزمون اسمیرنوف کولموگروف استفاده شد. در جداول ذیل مقادیر ستون‌های آزمون و سطح‌معنی‌داری براساس خروجی‌های این آزمون درج شده است که سطح معنی‌داری بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۰۵ تنها نمایانگر توزیع نرمال داده‌ها و سطح معنی‌داری کوچک‌تر از ۰/۰۵ عدم توزیع نرمال داده‌ها را نشان می‌دهد.

**ماهی ساردین روغنی:** مطابق جدول ۶ ملاحظه می‌شود که سطح معنی‌داری آزمون فوق در مورد تمامی داده‌های ماهی ساردین روغنی بیش‌تر از ۰/۰۵ بوده و نرمال می‌باشد. در نتیجه آزمون‌های پارامتری استفاده شده برای متغیرهای مورد نظر در این تحقیق مناسب می‌باشند.

**جدول ۶: آزمون اسمیرنف کولموگروف برای مشخص کردن طبیعی بودن توزیع مقادیر متغیرها در ماهی ساردین روغنی**

| متغیرها | تعداد | میانگین | انحراف استاندارد | آزمون | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|---|
| غلظت فلز سرب در بافت عضله ماهی ساردین روغنی (µg/g وزن تر) | ۳۰ | ۰/۳۳۰ | ۰/۱۰۲ | ۰/۳۱ | ۱ |
| غلظت فلز کادمیوم در بافت عضله ماهی ساردین روغنی (µg/g وزن تر) | ۳۰ | ۰/۰۱۲۴ | - | ۰/۵۳ | ۰/۹۴ |
| غلظت فلز نیکل در بافت عضله ماهی ساردین روغنی (µg/g وزن تر) | ۳۰ | ۰/۰۳۰۱ | - | ۰/۹۹ | ۰/۲۸ |
| وزن تر (g) | ۳۰ | ۱۰/۹۳ | ۲/۰۹۷ | ۰/۵۰ | ۰/۹۲ |
| طول چنگالی(cm) | ۳۰ | ۹/۸۶ | ۰/۶۷۷ | ۰/۹۲ | ۰/۳۷ |

به‌دلیل پایین بودن مقادیر غلظت فلزات کادمیوم و نیکل، نتیجه‌ای از نرم‌افزار استخراج نشده است.

**صدف خوراکی:** مطابق جدول ۷ ملاحظه می‌شود که سطح معنی‌داری آزمون فوق در مورد تمامی داده‌های صدف خوراکی بیش‌تر از ۰/۰۵ بوده و نرمال می‌باشد. درنتیجه آزمون‌های پارامتری استفاده شده برای متغیرهای مورد نظر در این تحقیق مناسب می‌باشند.

**جدول ۷: آزمون اسمیرنف کولموگروف برای مشخص کردن طبیعی بودن توزیع مقادیر متغیرها در صدف خوراکی**

| متغیرها | تعداد | میانگین | انحراف استاندارد | آزمون | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|---|
| غلظت فلز سرب در بافت عضله صدف خوراکی (µg/g وزن تر) | ۳۰ | ۰/۶۵۵ | ۰/۰۹۰ | ۰/۹۷ | ۰/۳۰ |
| غلظت فلز کادمیوم در بافت عضله صدف خوراکی (µg/g وزن تر) | ۳۰ | ۰/۰۶۵۸ | - | ۱/۲۴ | ۰/۰۹ |
| غلظت فلز نیکل در بافت عضله صدف خوراکی (µg/g وزن تر) | ۳۰ | ۰/۰۶۴۴ | - | ۱/۳۴ | ۰/۰۶ |
| وزن نرمتن (g) | ۳۰ | ۱/۴۹ | ۰/۴۲۴ | ۱/۱۳ | ۰/۱۶ |
| محور جلویی عقبی (mm) | ۳۰ | ۳۳/۴۰ | ۴/۱۴۰ | ۰/۵۶ | ۰/۹۱ |
| ارتفاع (mm) | ۳۰ | ۴۵/۰۸ | ۵/۰۰۴ | ۰/۷۴ | ۰/۶۵ |
| طول لولا (mm) | ۳۰ | ۱۳/۱۷ | ۲/۵۵۰ | ۰/۳۵ | ۱ |

به‌دلیل پایین بودن مقادیر غلظت فلزات کادمیوم و نیکل، نتیجه‌ای از نرم‌افزار استخراج نشده است.

**محاسبه برآورد ریسک ناشی از مصرف:** میزان خطرپذیری (ریسک) ناشی از مصرف ماهی ساردین روغنی و صدف خوراکی توسط فرمول‌های ۱ و ۲ و ۳ به‌شرح زیر محاسبه گردید.

فرمول ۱ : فاکتورتصحیح تبدیل وزن خشک به وز ن تر

$$CF = 1 - \frac{\text{میزان رطوبت عضله}}{100}$$

فرمول ۲: میزان جذب فلز سنگین در بدن در روز از طریق مصرف آبزی (میکروگرم بر گرم در روز)

$$CmEDI = \frac{IR}{Bw} \times$$

فرمول ۳: حداکثر میزان مجاز مصرف در روز (کیلوگرم در روز)

$$CRlim = \frac{RFD \times Bw}{Cm}$$

**ماهی ساردین روغنی**

**برآورد جذب روزانه فلز سنگین ناشی از مصرف:** جذب روزانه فلز سنگین (EDI) ناشی از مصرف ماهی ساردین روغنی برای فلزات سرب، کادمیوم و نیکل طبق فرمول ۱ محاسبه شد. در این فرمول میانگین غلظت فلزات (Cm) سرب، کادمیوم و نیکل در بافت عضله ماهی ساردین روغنی به‌ترتیب ۰/۳۳۰، ۰/۰۱۲۴ و ۰/۰۳۰۱ میکروگرم بر گرم وزن تر می‌باشد. وزن بدن (Bw) معمولاً برای بزرگسالان ۷۰/۰ کیلوگرم و برای کودکان ۱۴/۵ کیلوگرم درنظر گرفته می‌شود. طبق اعلام سازمان خوار و بار جهانی سرانه مصرف ماهی در ایران حدود ۶۴۰۰ گرم است که در این صورت میزان مصرف روزانه ماهی (IR) برای هر ایرانی ۱۷/۵ گرم (۰/۰۱۷۵ کیلوگرم) می‌باشد ولی قاعدتا میزان مصرف ماهی در ساکنین جنوبی ایران بالاتر از میزان اعلام شده توسط FAO است. به‌این ترتیب میزان جذب روزانه فلزات (EDI) سرب، کادمیوم و نیکل به‌ترتیب ۰/۰۰۰۰۸۲۵، ۰/۰۰۰۰۰۳۱ و ۰/۰۰۰۰۰۷۵ میکروگرم بر گرم در روز به‌دست آمد.

**حد مجاز مصرف روزانه:** حد مجاز مصرف روزانه (CRlim) ماهی ساردین روغنی با توجه به‌میزان فلزات سنگین سرب، کادمیوم و نیکل اندازه‌گیری شده در آن از طریق فرمول ۲ محاسبه شد. در این فرمول دوز مرجع یا مجموع مجاز جذب روزانه آلاینده (RFD) برای سرب، کادمیوم و نیکل به‌ترتیب ۰/۰۰۱، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۲ میکروگرم بر گرم در روز می‌باشد. وزن بدن (Bw) معمولاً برای بزرگسالان ۷۰/۰ کیلوگرم و برای کودکان ۱۴/۵ کیلوگرم درنظر گرفته می‌شود. میانگین غلظت فلزات (Cm) سرب، کادمیوم و نیکل در بافت عضله ماهی ساردین روغنی به‌ترتیب ۰/۳۳۰، ۰/۰۱۲۴ و ۰/۰۳۰۱ میکروگرم بر گرم وزن تر است. به این ترتیب حد مجاز مصرف روزانه (CR) عضله ماهی ساردین روغنی در بزرگسالان برای عناصر سرب، کادمیوم و نیکل به ترتیب ۵/۳۰۳، ۵/۶۴۵ و ۴۶/۵۱۲ کیلوگرم در روز محاسبه شد.

**شاخص خطر HQ:** ارزیابی ریسک بر اساس شاخص خطر HQ برای ماهی ساردین روغنی طبق فرمول ۳ محاسبه شد. میزان جذب روزانه فلزات (EDI) سرب، کادمیوم و نیکل به‌ترتیب ۰/۰۰۰۰۸۲۵، ۰/۰۰۰۰۰۳۱ و ۰/۰۰۰۰۰۷۵ میکروگرم بر گرم در روز به‌دست آمد. دوز مرجع یا مجموع مجاز جذب روزانه آلاینده (RFD) برای سرب، کادمیوم و نیکل به‌ترتیب ۰/۰۰۱، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۲ میکروگرم بر گرم در روز می‌باشد. به این ترتیب شاخص ریسک HQ در ماهی ساردین روغنی برای فلزات سرب، کادمیوم و نیکل ۰/۰۰۳۳، ۰/۰۰۳۱ و ۰/۰۰۰۴ به‌دست آمد.

**صدف خوراکی**

**برآورد جذب روزانه فلز سنگین ناشی از مصرف:** جذب روزانه فلز سنگین (EDI) ناشی از مصرف صدف خوراکی برای فلزات سرب، کادمیوم و نیکل طبق فرمول ۱ محاسبه شد. در این فرمول میانگین غلظت فلزات (Cm) سرب، کادمیوم و نیکل در بافت عضله **صدف خوراکی به ترتیب ۰/۶۵۵ ، ۰/۰۶۵۸و۰/۰۶۴۴میکروگرم**

بر گرم وزن تر می‌باشد. وزن‌بدن (Bw) معمولاً برای بزرگسالان ۷۰/۰ کیلوگرم و برای کودکان ۱۴/۵ کیلوگرم درنظر گرفته می‌شود. از آن جایی‌که اسلام خوردن هشت پا، لابستر و صدف‌های دریایی را حرام می‌داند، مصرف قابل توجه و متعاقب آن سرانه مصرفی برای صدف در ایران وجود ندارد. لذا برآورد میزان جذب روزانه فلز سنگین و شاخص خطر HQ برای صدف خوراکی با استفاده از سرانه مصرف آبزیان در جهان صورت می‌گیرد. سرانه مصرف آبزیان در جهان حدود ۲۰ کیلوگرم است که در این صورت میزان مصرف روزانه آبزی (IR) برای هر نفر ۰/۰۵۴۸ کیلوگرم می‌باشد. به این ترتیب میزان جذب روزانه فلزات (EDI) سرب، کادمیوم و نیکل به‌ترتیب ۰/۰۰۰۵۱۲۸، ۰/۰۰۰۰۵۱۵ و ۰/۰۰۰۰۵۰۴ میکروگرم بر گرم در روز به‌دست آمد.

**حد مجاز مصرف روزانه:** حد مجاز مصرف روزانه (CRlim) صدف خوراکی با توجه به میزان فلزات سنگین سرب، کادمیوم و نیکل اندازه‌گیری شده در آن از طریق فرمول ۲ محاسبه شد. در این فرمول دوز مرجع یا مجموع مجاز جذب روزانه آلاینده (RFD) برای سرب، کادمیوم و نیکل به‌ترتیب ۰/۰۲۵، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۲ میکروگرم بر گرم در روز می‌باشد. وزن‌بدن (Bw) معمولاً برای بزرگسالان ۷۰/۰ کیلوگرم و برای کودکان ۱۴/۵ کیلوگرم درنظر گرفته می‌شود. میانگین غلظت فلزات (Cm) سرب، کادمیوم و نیکل در بافت عضله صدف خوراکی به‌ترتیب ۰/۶۵۵، ۰/۰۶۵۸ و ۰/۰۶۴۴ میکروگرم بر گرم وزن تر می‌باشد. به این ترتیب حد مجاز مصرف روزانه (CR) صدف خوراکی در بزرگسالان برای عناصر سرب، کادمیوم و نیکل به‌ترتیب ۲/۶۷۲، ۱/۰۶۴ و ۲۱/۷۳۹ کیلوگرم در روز محاسبه شد.

**شاخص خطر HQ:** ارزیابی ریسک براساس شاخص خطر HQ برای صدف خوراکی طبق فرمول ۳ محاسبه شد. میزان جذب روزانه فلزات (EDI) سرب، کادمیوم و نیکل به‌ترتیب ۰/۰۰۰۵۱۲۸، ۰/۰۰۰۰۵۱۵ و ۰/۰۰۰۰۵۰۴ میکروگرم بر گرم در روز به‌دست آمد (طبق فرمول ۱). دوز مرجع یا مجموع مجاز جذب روزانه آلاینده (RFD) برای سرب، کادمیوم و نیکل به‌ترتیب ۰/۰۲۵، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۲ میکروگرم بر گرم در روز می‌باشد. به این ترتیب شاخص ریسک HQ در صدف خوراکی برای فلزات سرب، کادمیوم و نیکل ۰/۰۲۰۵، ۰/۰۵۱۵ و ۰/۰۰۲۵ به‌دست آمد.

## بحث

در این تحقیق غلظت فلزات سرب، کادمیوم و نیکل در ماهیان ساردین روغنی و صدف‌های خوراکی سه ایستگاه بندر گناوه، بندر بوشهر و بندر دیر مورد بررسی قرار گرفت. از میان سه عنصر مورد مطالعه بیش‌ترین میزان تجمع فلزات در هر دو گونه مربوط به عنصر سرب و سپس کادمیوم بود و غلظت نیکل در تمام نمونه‌ها ناچیز بود.

**جدول ۸: غلظت فلزات بافت عضله ماهی ساردین روغنی و صدف خوراکی**

| فلزات | ماهی ساردین روغنی | صدف خوراکی |
|---|---|---|
| سرب Pb | ۰/۴۳۲۷ | ۰/۷۴۱۴ |
| کادمیوم Cd | ۰/۰۱۹۲ | ۰/۰۵۵۰ |
| نیکل Ni | ۰/۰۰۰۶ | ۰/۰۰۲۵ |

سرب می‌تواند ناشی از ترکیبات نفتی، تردد، نشت و تخلیه آب توازن نفتکش‌ها، فاضلاب‌های صنعتی و شهری، کودهای شیمیایی و حیوانی، صنایع آبکاری و تجهیزات الکترونیکی، روغن‌های مستعمل و سوخته شناورها، صنایع غذایی و رهاسازی سرب از رنگ بدنه کشتی‌ها و شناورها باشد (۲۲). علاوه بر این بالا بودن غلظت سرب می‌تواند ناشی از تمایل این فلز به تجمع در بافت‌های پر تحرک آبزیان نیز باشد. اطمینان به صحت نتایج آزمایشات فلز نیکل در این تحقیق‌را می‌توان در دیگر مطالعات انجام شده در دریای خلیج فارس جستجو کرد. در تحقیقی که در سواحل بندرعباس انجام شد غلظت فلز نیکل در عضله ماهی طلال را ۰/۲۲۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک اندازه‌گیری گردید (۹). در تحقیق دیگری که در بندرماهشهر داشتند غلظت فلز نیکل در عضله میگوی سفید هندی را ۰/۱۲۹ میکروگرم بر گرم وزن خشک اندازه‌گیری کردند (۲۱). بنابراین با استناد به سایر تحقیقات و نتایج به‌دست آمده در تحقیق حاضر می‌توان اذعان داشت که سواحل خلیج‌فارس مشکلی از لحاظ آلوده بودن به نیکل ندارد. در این تحقیق میزان سرب، کادمیوم و نیکل اندازه‌گیری شده در نرمتن صدف خوراکی بیش‌تر از عضله ماهی ساردین روغنی بود که با توجه به کفزی‌بودن و پوده‌خواری صدف خوراکی توجیه‌پذیر است. در بین موجودات، گونه‌های بنتیک و اپی بنتیک به‌شدت در معرض آلاینده‌های محلول در آب و آلاینده‌های موجود در رسوبات می‌باشند (۶). موجودات ساکن بستر مانند میگوها، خرچنگ‌ها و لابسترها به‌دلیل تماس بیش‌تر با رسوبات کف میزان فلزات سنگین بیش‌تری نسبت به ماهیان انباشته می‌کنند. علاوه بر این نرم‌تنان به خصوص دوکفه‌ای‌ها، به‌دلیل استفاده از سیستم تغذیه پوده‌خواری (Filter-Feeding) قابلیت بیش‌تری برای تجمع فلزات سنگین در بدن خود دارند. مواد شیمیایی دربافت‌های دوکفه‌ای‌ها بین ۱۰ تا ۱۰۰ برابر نسبت به غلظت آلاینده درآب دریا تغلیظ می‌گردد که این امر ناشی از خصوصیت پوده خواری آن‌ها می‌باشد. موجودات پلاژیک نیز از طریق آلوده شدن زنجیره غذایی یا انتشار آلاینده‌ها به‌داخل آب، در معرض آلاینده‌های موجود در بستر هستند (۷). به این ترتیب فرضیه اول تحقیق حاضر در مورد بالا بودن میزان فلزات سنگین در

عضله صدف خوراکی اثبات می‌گردد. غلظت فلزات اندازه‌گیری شده با استانداردهای جهانی (WHO، FDA، UKMAFF) مقایسه گردید که خلاصه آن در جدول زیر (جدول ۹) آورده شده است.

**جدول ۹: مقایسه غلظت فلزات سنگین در تحقیق حاضر با میزان استاندارد فلزات سنگین در غذاهای دریایی**

| استانداردها | سرب $\mu$g/g wet (weight) | کادمیوم $\mu$g/g wet (weight) | نیکل $\mu$g/g wet (weight) |
|---|---|---|---|
| سازمان بهداشت جهانی (WHO) | ۱/۵ | ۰/۲ | ۰/۴ |
| سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) | ۱/۷ | ۱ | ۰/۸ |
| وزارت کشاورزی، شیلات و غذای انگلستان (UKMAFF) | ۲ | ۰/۲ | - |
| ماهی ساردین روغنی (n=30) | ۰/۴۳۲۷ | ۰/۰۱۹۲ | ۰/۰۰۰۶ |
| صدف خوراکی (n=30) | ۰/۷۴۱۴ | ۰/۰۵۵۰ | ۰/۰۰۲۵ |

با توجه به جدول فوق غلظت فلزات سرب، کادمیوم و نیکل اندازه‌گیری شده در ماهی ساردین روغنی و صدف خوراکی سواحل بوشهر پایین‌تر از استانداردهای جهانی(WHO، FDA و UKMAFF) می‌باشد. به این ترتیب فرضیه متفاوت بودن غلظت فلزات سنگین با میزان مجاز استاندارد برای هر دو گونه رد می‌گردد. میانگین طول چنگالی و وزن در ماهی ساردین روغنی ۹/۸۶ سانتی‌متر و ۱۰/۹۳ گرم بوده و هر دو متغیر در ماهی‌های ساردین نر بیش‌تر از ماده می‌باشد. میانگین غلظت سرب، کادمیوم و نیکل نیز به‌ترتیب ۰/۴۳۲۷، ۰/۰۱۹۲ و ۰/۰۰۰۶ میکروگرم بر گرم وزن تر است. در صدف خوراکی میانگین محور جلویی عقبی ۳۳/۴۰ میلی‌متر، ارتفاع ۴۵/۰۸ میلی‌متر و وزن ۱/۴۹ گرم می‌باشد. میانگین غلظت سرب، کادمیوم و نیکل نیز به‌ترتیب ۰/۷۴۱۴، ۰/۰۵۵۰ و ۰/۰۰۲۵ محاسبه شد. نتایج تست ANOVA یک‌طرفه در ماهی ساردین روغنی گویای آن است که بین غلظت فلز نیکل با طول چنگالی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ($p>0/05$)؛ به این معنا که طول چنگالی در جذب فلز نیکل در نمونه‌های آنالیز شده نقشی ندارند. اما بین غلظت فلزات سرب و کادمیوم با پارامتر زیستی فوق‌الذکر اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($p<0/05$)؛ به این معنا که طول چنگالی در جذب فلزات سرب و کادمیوم در نمونه‌های آنالیز شده نقش دارد. در صدف خوراکی بین غلظت فلزات سرب و کادمیوم و نیکل با محور جلوئی عقبی و وزن اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ($p>0/05$)؛ به این معنا که محور جلوئی عقبی و وزن در جذب فلز نیکل در نمونه‌های آنالیز شده نقشی ندارند. در تحقیقی که در شمال غرب خلیج‌فارس انجام گرفت میانگین غلظت فلزات سرب، کادمیوم و نیکل در بافت عضله ماهی صبور به‌ترتیب ۱/۰۱۳، ۰/۱۱۹ و ۴/۰۰۴ بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک اندازه‌گیری شد (۳). نتایج به‌دست آمده از آزمون ضریب همبستگی پیرسون حاکی از وجود رابطه خطی مثبت بین میزان تجمع فلزات کادمیوم و نیکل با عوامل طول استاندارد و وزن کل داشت ($p<0/05$) ولی بین میزان تجمع فلز سرب با طول استاندارد رابطه معنی‌داری وجود نداشت. این در حالی است که در تحقیق حاضر بین غلظت فلز نیکل با طول چنگالی ماهی ساردین روغنی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ($p>0/05$) اما بین غلظت فلزات سرب و کادمیوم با پارامتر زیستی فوق‌الذکر اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($p<0/05$). در ماهی ساردین روغنی غلظت وزن خشک سرب بیش‌تر از تحقیق Sadouq-Niri و همکاران (۲۹) ولی غلظت وزن خشک کادمیوم و نیکل کم‌تر می‌باشد. نتایج آزمون T-test نشان می‌دهد که بین میانگین غلظت فلزات سرب، کادمیوم و نیکل در عضله هر دو گونه ماهی ساردین روغنی و صدف خوراکی با استانداردهای جهانی برای آبزیان (WHO، FDA، UKMAFF) اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در تحقیق دیگری میزان فلزات سنگین سرب و کادمیوم در بافت عضله ماهی زمین‌کن دم‌نواری بندر ماهشهر به‌ترتیب ۱۱/۶۵ و ۴/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک اندازه‌گیری شد که از استانداردهای WHO و UKMAFF بالاتر است. این در حالی است که غلظت وزن خشک سرب و کادمیوم در ماهی ساردین روغنی بسیار پایین‌تر از تحقیق Sanger و همکاران (۲۵) بوده و در مقایسه با استانداردها پایین بودن این عناصر را نشان می‌دهد. در تحقیقی که در سواحل خلیج‌فارس (هرمزگان) صورت گرفت میانگین غلظت فلزات سرب و کادمیوم در بافت عضله ماهی طلال به‌ترتیب ۰/۰۱ و ۰/۰۲ ppm به‌دست آمد. مقایسه نتایج به‌دست آمده با استانداردهای بین‌المللی WHO، MAFF و NHMRC نشان داد که مقدار فلزات سرب و کادمیوم از حد مجاز کم‌تر است و هیچ‌گونه مشکلی برای مصارف انسانی ایجاد نمی‌کند. جدول ۱۰ به مقایسه میزان فلزات سنگین (سرب، کادمیوم و نیکل) در بافت عضله ماهی ساردین روغنی *Sardinella longiceps* و صدف خوراکی *Saccostrea cucullata* با نتایج مطالعات سایر محققان بر بافت عضله سایر آبزیان در سرتاسر دریای خلیج‌فارس در سال‌های اخیر می‌پردازد. لازم به ذکر است که مقادیر ارائه شده برای هر سه عنصر بر حسب وزن خشک است. علت این تفاوت‌ها را می‌توان به منابع آلاینده متفاوت در شهرهای اطراف، ورود مقادیر متفاوت از فاضلاب‌های شهری-صنعتی از ساحل به دریا، تردد متفاوت و پراکنده نفتکش‌ها و هم‌چنین تفاوت ورود مواد آلی و معدنی به منابع آبی این مناطق دانست (۲۲). جدول ۱۱ نیز به‌طور خلاصه به نتایج مطالعات سایر محققان در سایر نقاط جهان در ارتباط با غلظت فلزات بافت عضله انواع آبزیان پرداخته است.

**جدول ۱۰: خلاصه نتایج مطالعات سایر محققان در سواحل خلیج‌فارس در سال‌های اخیر**

| ردیف | نام فارسی | نام علمی | مکان | فلز سنگین | | | منبع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | سرب | کادمیوم | نیکل | |
| ۱ | میگوی ببری سبز | *Penaeus semisulcatus* | بندر بوشهر | ۲۵ | ۴۵ | ۱ | (۲۵) |
| | ماهی حلوا سفید | *Pampus argenteus* | | ۳۷ | ۴ | ۱۵۷ | |
| | ماهی سنگسرمعمولی | *Pomadasys kaakan* | | ۹ | ۴ | ۳ | |
| | ماهی شیر | *Scomberomorus commerson* | | ۱ | ۰ | ۱ | |
| ۲ | صدف خوراکی | *Saccostrea cucullata* | سواحل هرمزگان | ۵/۲ | ۳/۸ | – | (۲۶) |
| ۳ | ماهی شوریده | *Otolithes ruber* | خلیج‌فارس | ۰/۴۸ | ۰/۰۶۴ | ۰/۴۸ | (۲۷) |
| | ماهی سرخو | *Lutjanus johnii* | | ۰/۴۴۲ | ۰/۰۶۳ | ۰/۳۲۲ | |
| ۴ | ماهی زمین‌کن دم‌نواری | *Platycephalus indicus* | بندر ماهشهر | ۱۱/۶۵ | ۴/۶۶ | – | (۲۴) |
| ۵ | ماهی صبور | *Tenualosa ilisha* | شمال غرب خلیج‌فارس | ۱/۰۱۳ | ۰/۱۱۹ | ۴/۰۰۴ | (۲۸) |
| ۶ | ماهی طلال | *Rastrelliger kanagurta* | بندرعباس | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۸۰ | ۰/۲۲۴ | (۱۳) |
| ۷ | ماهی کفشک | *Euryglossa orientalis* | بندر هندیجان (خوزستان) | ۵/۲۰ | ۰/۷۰ | – | (۲۸) |
| | | | بندر دیلم (بوشهر) | ۴/۶۹ | ۰/۴۹ | | |
| ۸ | ماهی شوریده | *Otolithes ruber* | بندر ماهشهر | ۰/۴۴۷ | ۰/۲۵۰ | ۱/۹۳ | (۲۹) |
| ۹ | صدف صخره | *Saccostrea cucullata* | بندر دیر | – | ۲/۵۳ | ۰/۷۶ | (۱۸) |
| ۱۰ | میگوی سفید هندی | *Fennerpenaeus indicus* | بندر ماهشهر | ۰/۷۲۴ | ۰/۰۷۹ | ۰/۱۲۹ | (۱۳) |
| ۱۱ | ماهی ساردین روغنی | *Sardinella longiceps* | سواحل بوشهر | ۰/۴۳۲۷ | ۰/۰۱۹۲ | ۰/۰۰۰۶ | میکروگرم بر گرم |
| | صدف صخره | *Saccostrea cucullata* | | ۰/۷۴۱۴ | ۰/۰۵۵۰ | ۰/۰۰۲۵ | |

**جدول ۱۱: خلاصه نتایج مطالعات سایر محققان در سایر نقاط جهان در سال‌های اخیر**

| ردیف | فارسی | لاتین | مکان | فلز سنگین | | | منبع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | سرب | کادمیوم | نیکل | |
| ۱ | ساردین اروپایی | *Sardina pilchardus* | دریای مدیترانه | ۶/۵۷ | ۱/۱۱ | ۳/۶۷ | (۱۵) |
| ۲ | ۷گونه گاستروپود و ۷گونه دوکفه‌ای خوراکی: | *Anadara ferruginea* | بازار هنگ کنگ و گوانگدونگ | هنگ کنگ گوانگدونگ | هنگ کنگ گوانگدونگ | هنگ کنگ گوانگدونگ | (۱۰) |
| | – | *Paphia undulate* | | ۰/۱۵ ۰/۴۳ | ۰/۱۷ ۰/۳۸ | ۱/۲۷ ۲/۰۰ | |
| | – | *Ruditapes philippinarum* | | ۰/۰۸ ۰/۵۳ | ۰/۳۱ ۰/۰۶ | ۰/۷۲ ۰/۸۴ | |
| | صدف گردن کوتاه | *Crassostrea gigas* | | ۰/۲۱ ۰/۲۵ | ۲/۳۴ ۰/۹۹ | ۰/۹۰ ۱/۰۸ | |
| | صدف ژاپنی | *Pinna pectinata* | | ND ۰/۱۴ | ۶/۰۲ ۲/۱۸ | ۰/۷۵ ۱/۹۰ | |
| | – | *Perna viridis* | | ۰/۱۹ ۰/۱۷ | ۰/۱۳ ۰/۰۶ | ۰/۲۷ ۰/۷۱ | |
| | صدف سبز آسیا | *Chlamys nobilis* | | ۰/۱۸ ۰/۲۵ | ۳/۶۵ ۴/۳۸ | ۰/۷۹ ۱/۷۷ | |
| | – | | | ۰/۲۰ ۰/۴۱ | | | |
| ۳ | ۶گونه: | | شمال شرق دریای مدیترانه | ۵/۵۴ | ۰/۳۷ | – | (۱۵) |
| | - | *Sparus auratus* | | ۶/۱۲ | ۰/۳۷ | | |
| | - | *Atherina hepsetus* | | ۵/۳۲ | ۰/۶۶ | | |
| | کفال (خاکستری) | *Mugil cephalus* | | ۴/۲۷ | ۰/۷۹ | | |
| | – | *Trigla cuculus* | | ۵/۵۷ | ۰/۵۵ | | |
| | ساردین اروپایی | *Sardina pilchardus* | | ۲/۹۸ | ۰/۴۵ | | |
| | – | *Scomberesox saurus* | | | | | |
| ۴ | ۲گونه از نرم‌تنان دوکفه‌ای خوراکی: | | سواحل اقیانوس اطلس در جنوب استرالیا | ۳/۶ | ۰/۱۹ | ۱/۲ | (۱۰) |
| | – | *Donax trunculus* | | | | | |
| | – | *Chamelea gallina* | | | | | |
| ۵ | کنسرو ساردین (برخی مارک‌های معروف) | – | بازار نیجریه | – | ۰/۱۱-۰/۲۶ | ۰/۰۴-۳/۲۶ | (۷) |

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شاخص ریسک (HQ) در ماهی ساردین‌روغنی و صدف‌خوراکی برای‌هر سه فلز کم‌تر از یک محاسبه شد که از لحاظ ریسک‌پذیری خطری برای مصرف‌کنندگان نخواهند داشت. در نتیجه میزان مجاز مصرف (حفظ سلامتی) برای ماهی ساردین روغنی از لحاظ سرب، کادمیوم و نیکل به‌ترتیب ۴/۰۴۴، ۳/۶۴۶ و ۲۳۳۳/۳۳۳ کیلوگرم در روز می‌باشد. درصدف خوراکی نیز میزان مجاز مصرف برای فلزات نام برده به‌ترتیب ۲/۳۶۰، ۱/۲۷۳ و ۵۶۰ کیلوگرم‌در روز توصیه‌می‌شود. فرمول‌های‌پیشنهادی این امکان را به ما می‌دهد تا در هر منطقه با توجه به میانگین مصرف سرانه، نوع آلودگی، دوز رفرنس و غلظت آلاینده در ماهی و فراورده‌های دریایی با کاهش میزان مصرف، میزان ورود و جذب ماده آلاینده به بدن را تا حداستاندارد (مقداری که هیچ‌گونه اثر منفی قابل مشاهده ندارد) کاهش داد (۲۵). با وجود این‌که صدف‌خوراکی‌جانوری کفزی است ولی میزان فلزات سنگین در بافت عضله آن کم بود. در سواحل بندر دیر استان بوشهر انجام دادند میانگین غلظت فلزات کادمیوم و نیکل در بافت‌عضله صدف‌خوراکی (*Saccostrea cucullata*) با دامنه طولی ۵۰±۵ و ۷۰±۵ را به‌ترتیب ۲/۵۳ و ۰/۷۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک به‌دست آوردند. در این تحقیق اختلاف معنی‌داری میان جذب فلزات کادمیم و نیکل در صدف‌هایی با دامنه طولی متفاوت مشاهده نشد (p>۰/۰۵). پایین بودن غلظت فلزات در هر دو تحقیق نشان‌دهنده آلودگی کم این مناطق به عناصر سرب، کادمیوم و نیکل می‌باشد. ازطرفی با توجه به ارزش‌غذایی بالای این‌صدف و هم‌چنین منابع فراوان آن در خلیج‌فارس، این صدف می‌تواند به‌عنوان گونه‌ای صادراتی محسوب و برای کشور ارز آوری داشته باشد. با توجه به آلودگی پایین ماهی ساردین روغنی (که چند سالی است به‌صورت کنسرو نیز عرضه می‌شود) به فلزات مورد مطالعه، این ماهی می‌تواند بیش‌تر در سبد غذایی مردم قرار بگیرد. ماهی ساردین از گروه ماهی‌های پرچرب بوده و چربی آن از نوع امگا-۳ است. چربی مفید ساردین از لخته شدن و چسبیدن پلاکت‌های خونی حاوی کلسترول به سطح داخلی عروق جلوگیری می‌کند و به‌دلیل کاهش التهاب در بیماری‌هایی چون آرتریت روماتوئید نقش کلیدی دارد. گوشت این ماهی کمی تیره و در مقایسه با ماهی‌های سفید از نظر ویتامین B غنی‌تر است. کیلکا و ساردین به‌دلیل آن‌که همراه با استخوان‌مصرف می‌شوند فسفر، کلسیم، ید و آهن قابل جذبی دارند و برای افرادی که زمینه ابتلا به پوکی استخوان دارند و شیر هم مصرف نمی‌کنند گزینه مناسبی است می‌باشند.

## منابع


1. **Zehra, I., Kausert, T., Zahir, E. and Imam Naqvi, I., 2003.** Determination of Cu, Cd, Pb and Zn Concentration in Edible Marine Fish Acanthopagurus berda (DANDYA) Along Baluchistan Coast–Pakistan. Agriculture & Biology. 5(1): 80-82.
2. **Perera, P., 2004.** Heavy metal concentrations in the Pacific oyster; Crassostrea gigas. Master's Thesis Applied Sciences. Auckland University of Technology. Auckland.
3. **Habibi, S., 2009.** Studying the impurity level of sediments and bivalves (*Solen roseomaculatus*) in relation to heavy metals (Pb, Ni, Cu, Cd) in some beaches of Bushehr province. Master's thesis in the field of marine biology, animal orientation. Faculty of Marine and Ocean Sciences. Khorramshahr Marine Science and Technology University. (In Persian)
4. **Vaezi, A., Karbasi, A., Fakhraei, M., Valikhani Samani, A. and Heidari, M., 2014.** Investigating the concentration and origin of metal pollutants in Khor Musi sediments, Persian Gulf. Environmental science. 40(2): 360-345.
5. **Cogun, H., Yuzereroglu, T.A., Kargin, F. and Firat, O., 2005.** Seasonal Variation and Tissue Distribution of Heavy Metals in Shrimp and Fish Species from the Yumurtalik Coast of Iskenderun Gulf, Mediterranean. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 75: 707-715.
6. **Faghiri, A., 2009.** Biological monitoring of heavy metals (mercury, copper and lead) in Imam Khomeini port (Ra) using bivalve clams (*Crassostrea gigas*). Master's thesis in the field of marine biology with a focus on sea pollution. School of Marine and Oceanic Sciences. Khorramshahr University of Marine Sciences and Techniques. (In Persian)
7. **Doyle, C.J., Pablo, F., Lim, R.P. and Hyne, R.V., 2003.** Assessment of Metal Toxicity in Sediment Pore Water from Lake Macquarie, Australia. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 44: 343-350.

8. **Esmaeili Sari, A., 2002.** Pollutants, health and standards in the environment. Naqsh Mehr Publications. First Edition. 798 p. (In Persian)

9. **Martin Deva Prasath, P. and Hidayathulla Khan, T., 2008.** Impact of Tsunami on the Heavy Metal Accumulation in Water, Sediments and Fish at Poompuhar Coast, Southeast Coast of India. Chemistry. 5(1): 16-22.

10. **Mohammad Nabizadeh, S., 2011.** Determining the bioaccumulation of heavy metals in the tissues of two species of fish (*Sillago sihama*) and (*Platycephalus indicus*) in southern Iran. Environmental Master's Thesis (Environmental Pollution). School of Agriculture. Birjand University. (In Persian)

11. **Anderson, D.M. and Morel, F.M.M., 1978.** Copper sensitivity of Gonyaulax tamarensis. Limnology and Oceanography. 283-295.

12. **Khoram Abadi, A., 2010.** The concentration of heavy metals (copper, zinc, cadmium, nickel and lead) in the sediments of the bottom and muscle tissue of western Pacific shrimp in the breeding farms of Bushehr province. Master's thesis in the field of fisheries. Department of natural resources. University of Zabol. (In Persian)

13. **Ghafar Haddadi, F., 2008.** Comparison of heavy metals zinc, lead and copper (Cu, Pb, Zn) in muscle and skin tissue of wild and cultured carp (*Cyprinus carpio*) in Golestan province. Master's thesis in marine biology. Faculty of Biological Sciences. Shahid Beheshti University. (In Persian)

14. **Canli, M. and Guluzar, A., 2003.** The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. Environmental Pollution. 121: 129-136.

15. **Golbabaei, F., Hassani, Z., Shahtaheri, S.J., Mahmoudi, M. and Tirgar, A., 2005.** Assessing the exposure of smelting industry workers in Zanjan to heavy metals, 2004-2005. J Adv Med Biomed Res. 13(53): 55-61.

16. **Mansour, S.A. and Sidky, M.M., 2002.** Ecotoxicological Studies. 3. Heavy metals contaminating water and fish from Fayoum Governorate, Egypt. Food Chemistry. 78: 15-22.

17. **Hassan Pour, B., 2011.** Study of the concentration of heavy metals in the sediment, water and organs of aquatic birds in the southeastern coast of the Caspian Sea (Gomishan International Lagoon and Gorgan Bay). Master's thesis in the field of natural resources environmental engineering. School of Agriculture. Birjand University. (In Persian)

18. **Jalali Jafari, B. and Aghazadeh Meshgi, M., 2004.** Fish poisoning due to heavy metals in water and its importance in public health. Iran: Maan Publications. (In Persian)

19. **Sadeghi, M., 2009.** Investigating the biological characteristics and determining the amount of heavy metals Ni, V, Fe, Pb, Cd in muscle tissues, liver and gonads of lionfish (*Scomberomorus commerson*) in the waters of Hormozgan province (Persian Gulf). Doctorate thesis in marine biology. Islamic Azad University Science and Research Unit. (In Persian)

20. **Parvaresh, M., 2011.** Investigating the accumulation of heavy metals Cd, Pb, Cu, Fe, Zn in sediments and shrimp (Palaemonelegan). Master's thesis. Department of natural resources. Tarbiat Modares University. (In Persian)

21. **Alsagh, A. and Barmaki, M., 2013.** Measurement of heavy metal pollution in coastal sediments of the Persian Gulf. Environmental science and technology. 15(3): 1-11.

22. **Sadouq Neiri A, Nikpour Y, Rajabzadeh A, Mahboubi Sufiani N, Ahmadi R. 2010.** Measurement of heavy metals cadmium, nickel, cobalt, copper and lead in the tissues of sabour fish, *Tenualosa ilisha*, in the northwest of the Persian Gulf and its relationship with length and weight. Aquatic Sciences. 1(1): 73. (In Persian)

23. **Sanger, F., Javaheri, M. and Askari Sari, A., 2018.** Measurement and comparison of heavy metals (lead and cadmium) in the muscle and skin of striped groundfish (*Platycephalus indicus*) in Sayadi area of Bandar Mahshahr. Marine Biology-Islamic Azad University, Ahvaz branch. 1(4): 35-46. (In Persian)

24. **Esmaili-Sari, A., Qasimpuri, M. and Yaqubzadeh, Y., 2010.** Measurement and comparison of heavy elements (cadmium, nickel, lead and zinc) in some commercial fish and green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus*) in Bushehr district. Environmental science. 28: 49-55.

**25.** **Mortazavi, S., Esmaili Sari, A. and Riahi Bakhtiari, A., 2002.** Measurement of zinc, lead, cadmium and chromium levels in rock oysters (*Saccostrea cucullata*) in the coasts of Hormozgan province. Iranian Journal of Marine Sciences and Techniques. 2(1): 67-76. (In Persian)

**26.** **Shahriari, A., 2003.** Investigating the concentration of heavy metals cadmium, chromium, lead, nickel and mercury in some fish consumed in Isfahan city in 2002. Master's thesis. Faculty of Health. Isfahan University of Medical Sciences. (In Persian)

**27.** **Sadouq Neiri**, **A., Nikpour, Y., Rajab Zadeh, A., Mehboubi-Sofiani, N. and Ahmadi, R., 2010.** Measurement of heavy metals cadmium, nickel, cobalt, and lead in the tissues of *tenualosa ilisha* in the north-west of the Persian Gulf and its relationship with toluene. Aquatic Sciences. 1(1): 73-87.

**28.** **Khorramabadi, A., 2013.** Concentration of heavy metals (copper, zinc, cadmium, nickel lead) in the sediments of western phosphate shrimp muscle tissue in Bushehr Farms. Master's thesis in the field of fisheries. Department of natural resources. University of Zabol. (In Persian)